Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 4, Winter 2024, p. 1029-1041

The Effect of Different Qualities of LED Light on the Morphophysiological Indicators of *Cucumis sativus* L. var. Officer

M. Zare Mehrjerdi[1], N. Safari[2], M. Kharrazi[3], A. Khadem[3], A. Sharifi[3*]

1- Assistant Professor, Agriculture faculty of Shirvan, University of Bojnord, Bojnord, Iran
2- Ph.D. of Horticultural Science, Department of Horticultural Science and Landscape, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3- Assistant Professor, Horticultural Plants Biotechnology Department, Research Institute for Industrial Biotechnology, Iranian Academic Centre for Education, Culture and Research (ACECR), Khorasan Razavi Branch, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: a-sharifi@jdm.ac.ir)

Received:	27-12-2022	**How to cite this article:**
Revised:	29-06-2023	Zare Mehrjerdi, M., Safari, N., Kharrazi, M., Khadem, A., & Sharifi, A. (2024). The effect of different qualities of LED light on the morphophysiological indicators of *Cucumis sativus* L. var. Officer. *Journal of Horticultural Science, 37*(4), 1029-1041. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2023.80257.1222
Accepted:	06-07-2023	
Available Online:	09-07-2023	

Introduction

In addition to providing the necessary energy for photosynthesis, light controls many plant metabolic processes. Nowadays, the use of supplemental light significantly improves the quality of the food product in the conditions of lack of natural light in the autumn and winter seasons. Light-emitting diodes have been proposed as alternative light sources in controlled agricultural environments .These lamps are the first light sources with the ability to control the light spectrum. Therefore, by controlling the light spectrum and matching the wavelength of LED lamps with the photoreceptors of the plant, the performance and quality of the plant is improved. Cucumber is one of the most important greenhouse plants and its seedlings are generally produced during the autumn and winter seasons, when natural light is relatively low; therefore, the use of supplementary light is required. The use of artificial light sources in fully controlled conditions can change and improve the growth conditions of the plant and also improve its quantitative and qualitative traits. In this research, the aim was to investigate the effect of different qualities of light on the morphophysiological indicators of cucumber seedlings.

Materials and Methods

This research was performed at the Horticultural Plants Biotechnology Department, Industrial Biotechnology Research Institute of Khorasan Razavi. First, the seeds of the cucumber plant (*Cucumis sativus* L. var. Officer) were planted in a planting tray, and placed under the light panel with different light treatments. The experimental treatments included four light qualities including white light (6000-6500K) blue light (460-470 nm), red light (625 nm) and combined light (blue + red + white). The amount of photosynthetic photon flux was considered the same in all light treatments, which was equal to 2.75 µol m-2 s-1 CO2 assimilation. Thirty days after planting of seeds, the growth of plants were measured in three stages every 10 days. In each stage, 4 plant samples were selected and then plant height, leaf area, fresh and dry weight of shoots and roots, plant dry matter index and leaf chlorophyll content were measured. Data preparation was done in Excel software, data analysis was done using JMP-8 software and treatment averages were compared using LSD test at 5% probability level.

https://doi.org/10.22067/jhs.2023.80257.1222

Results and Discussion

The results of the experiments showed that the quality of light was significantly effective on the growth indicators of Cucumber plants. Plant height in red light and blue light treatments compared to the white light and combined light (red+blue+white with the same intensity) treatments, increased by more than 130% and 60%, respectively. The lowest height was observed in plants grown under combined light, 9 and 14.25 cm after 40 and 50 days of cultivation respectively. The exposure of cucumber seedlings to the red and combined lights recorded the highest and the lowest leaf area in the plants, 618.65 and 377.26 cm^2 respectively. Also white light significantly improved the dry weight of the roots. It is worth to mention that the highest plant fresh weight was observed in blue and white lights, 20.9 and 19.5 g respectively. For parameters such as dry weight, dry matter index, and pigment content, the light treatments did not exert a significant effect. However, the utilization of red and blue light, both individually and in combination, positively impacted plant growth. Notably, exposure to red light alone led to a significant increase in leaf surface area, root dry weight, and plant height compared to other light conditions. Previous studies have indicated that red light enhances leaf area, stem length, and fresh weight of plants. Leaves play a critical role in plant photosynthesis and overall growth. Therefore, increasing the leaf area in the plant increases the amount of photosynthesis, growth and development of the plant. In this study, with the increases of the leaf area in the plant and the subsequent increases in the amount of photosynthesis, allocation of dry mater to root increased. The results of the research has been shown that the combination of blue and red wavelengths in pepper, tomato and cucumber seedlings is effective in stimulating plant growth and improving the morphological characteristics under controlled conditions. Blue and red lights can increase the proton flow rate of epidermal cells through the separation mechanism and thus affect leaf development. Blue light directly through the interaction with proton pumps and indirectly through receptors, affects proton pumps by modulating passive ion conduction of potassium and calcium channels.

Conclusion

According to the results of this research, it was found that exposing the plant to different light quality had different responses in the cucumber plants. Although variables such as dry weight and the amount of photosynthetic pigments were not significantly affected by light quality, however, traits such as plant height, leaf area, root dry weight, and plant fresh weight were affected by light quality. The affected parameters are among the traits that are influenced by the gibberellin hormone and according to the reports related to the effect of light quality on the gibberellin biosynthesis and response to this hormone. It seems that plant action to the quality of light can be attributed to the regulation of this hormone. So it is possible to choose the appropriate light quality in fully controlled conditions according to the production goal and results. In this research, according to the plant leaf rea, root dry weight and plant height, it was determined that white light can be used in the seedling production stage.

Keywords: Blue light, Growth characteristics, Light emitting diodes, Red light, White light

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷، شماره ٤، زمستان ١٤٠٢، ص. ١٠٤١-١٠٢٩

تأثیر کیفیت‌های مختلف نور LED بر شاخص‌های مورفوفیزویولوژیکی گیاه خیار (*Cucumis sativus* L.)

محمد زارع مهرجردی[1]- نسیم صفری[2]- سیده مهدیه خرازی[3]- آزاده خادم[3]- احمد شریفی[3]*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۵

چکیده

در طی رشد گیاه، کیفیت نور بر بسیاری از شاخص‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی تأثیر می‌گذارد. امروزه استفاده از نور تکمیلی به‌طور قابل توجهی عملکرد محصول و کیفیت آن را در شرایط کمبود نور طبیعی به‌خصوص در فصل‌های پاییز و زمستان بهبود می‌بخشد. دیودهای ساطع‌کننده نور (Light-emitting diode) به‌عنوان منابع نور جایگزین در محیطهای کشاورزی کنترل‌شده پیشنهاد شده‌اند. در این راستا، پژوهش حاضر به‌منظور بررسی چگونگی تأثیر کیفیت نور بر دانهال‌های خیار (*Cucumis sativus* L.) رقم Officer در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی انجام شد. آزمایش در ۴ کیفیت متفاوت نور آبی، قرمز، سفید و ترکیبی (آبی+قرمز+سفید) با توانایی فتوسنتزی یکسان بود. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارهای نوری از نظر صفات، ارتفاع بوته، سطح برگ، وزن خشک ریشه و وزن تر اندام هوایی تحت تأثیر کیفیت نور قرار گرفت و اختلاف بین آنها در روزهای مختلف پس از کشت معنی‌دار بود. ارتفاع بوته در تیمار نور قرمز و نور آبی در مقایسه با تیمار سفید و تیمار نور ترکیبی (قرمز+آبی+سفید) به ترتیب ۵۸/۳ و ۱۳۳/۳ درصد افزایش داشت. کمترین ارتفاع بوته در تیمار نور ترکیبی مشاهده شد. این درحالی است که بیشترین وزن تر اندام هوایی در نورهای سفید و آبی، بیشترین سطح برگ در نورهای سفید و قرمز و بیشترین وزن خشک ریشه نیز در نور سفید مشاهد شد. صفات تحت تأثیر قرار گرفته جزء دسته صفاتی هستند که تحت تأثیر هورمون جیبرلین قرار می‌گیرند. به‌طور کلی مشخص گردید که رشد گیاه خیار تحت تأثیر کیفیت‌های مختلف نور قرار گرفته است و با توجه به هدف تولید و شرایط موجود می‌توان کیفیت نور مناسب برای کسب حداکثر سرعت رشد گیاه را انتخاب نمود.

واژه‌های کلیدی: دیودهای ساطع‌کننده نور، صفات رشدی، نور آبی، نور قرمز، نور سفید

مقدمه

نور یکی از عوامل اصلی در رشد و پرورش گیاهان می‌باشد. طیف نوری مورد استفاده در گیاهان براساس گزارش مک‌گری بین ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر بوده که به طیف تابش فعال فتوسنتزی (Photosynthetic Active Radiation) یا طیف فعال مک‌گری (McCree action spectrum) مشهور است (McCree, 1971). نور علاوه بر ایجاد انرژی لازم برای فتوسنتز، بسیاری از فرآیندهای متابولیکی گیاه را کنترل می‌کند (Astolfi *et al.*, 2001; Chen *et al.*, 2004). امروزه استفاده از نور تکمیلی به‌طور قابل توجهی عملکرد محصول و کیفیت غذایی را در شرایط کمبود نور طبیعی در فصل‌های پاییز و زمستان بهبود می‌بخشد (Lu *et al.*, 2012; Yorio *et al.*, 2001). برای مدت طولانی، استفاده از لامپ‌های فلوئورسنت (Fluorescent lamps)، لامپ‌های رشته‌ای (Filament lamps) و لامپ‌های پر فشار سدیمی (High-pressure sodium lamps) مرسوم بود (Tibbitts *et al.*, 1983)؛ اما با توجه به مصرف انرژی بالا، تولید گرمای زیاد و عدم تأثیر قابل توجه بر رشد گیاه (Randall

۱- استادیار دانشکده کشاورزی شیروان، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران
۲- دانش‌آموخته دکتری علوم باغبانی، گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- استادیار گروه بیوتکنولوژی گیاهان باغبانی، پژوهشکده بیوتکنولوژی صنعتی، سازمان جهاددانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: a-sharifi@jdm.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jhs.2023.80257.1222

& Lopez, 2014)، دیودهای ساطع‌کننده نور (Light-emitting diode) به‌عنوان منابع نور جایگزین در محیط‌های کشاورزی کنترل‌شده پیشنهاد شده‌اند (Massa *et al*., 2008). پیک نوری ساطع شده توسط لامپ‌های LED از UV-C (~250 nm) تا مادون قرمز (~1000 nm) متفاوت است (Bourget, 2008). این لامپ‌ها اولین منابع نوری با قابلیت کنترل طیف نوری می‌باشند. از این رو با کنترل طیف نوری و تطابق طول موج لامپ‌های LED با گیرنده‌های نوری گیاه، عملکرد و کیفیت گیاه بهبود می‌یابد (Morrow, 2008; Bian *et al*., 2015, 2016). عوامل مختلفی از جمله: طول عمر بالا، افزایش بهره‌وری نور، صرفه‌جویی در مصرف انرژی، قابلیت تنظیم دقیق شار فوتون فتوسنتزی[1] و طول موج نور تابشی، احتیاج به فضای کم، زمان کوتاه سویچ کردن، ایمن بودن این لامپ‌ها برای مصرف‌کننده و محیط زیست، عدم وجود پوشش شیشه‌ای شکننده، دمای مناسب لامپ و عدم وجود اشعه UV و جیوه منجر به افزایش استفاده از آن‌ها به‌عنوان منبع نوری در پرورش گیاهان شده است (Morrow, 2008; Li *et al*., 2013; Olle & Bourget, 2008; Viršile, 2013; Singh *et al*., 2015). تأثیر مثبت دیودهای ساطع کننده نور بر رشد رویشی گیاه کاهو، تربچه، فلفل، اسفناج، گوجه فرنگی بیان شده است (Tamulaitis *et al*., Yorio *et al*., 2001; 2005; Urbonaviciute *et al*., 2007; Watjanatepin., 2019).

خیار یکی از گیاهان مهم گلخانه‌ای بوده و عموما تولید گیاهچه آن در طی فصول پاییز و زمستان صورت می‌گیرد که نور طبیعی به نسبت، کم می‌باشد؛ از این رو استفاده از نور تکمیلی مورد نیاز است (Spaargaren, 2001; Heuvelink *et al*., 2006). خیار در مقایسه با سایر محصولات گلخانه‌ای همچون فلفل و گوجه‌فرنگی حساسیت بیشتری به کیفیت نور و تیمارهای تابشی نشان می‌دهد (Trouwborst *et al*., 2010; Hernández & Kubota, 2012; Hemming *et al*., 2008). در پژوهشی مشخص شده است که استفاده از نور ترکیبی آبی و قرمز در رشد گیاهچه خیار مفید بوده و ارتفاع بوته و کیفیت بیوماس گیاهی به‌طور معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد با نور قرمز یا آبی به تنهایی افزایش یافت (Cao *et al*., 2013). همچنین بیان شده است که نور سفید ساطع شده از لامپ های LED برای تولید گیاهچه با کیفیت خیار، مناسب‌تر از فقدان نور سبز یا نسبت بالای نور آبی به قرمز است (Song *et al*., 2017). محققین بیان کرده‌اند که با قراردادن گیاهچه‌های خیار در طیف‌های مختلف نوری (قرمز، آبی، قرمز دور، سبز و نارنجی)، ترکیب فتوسیستم برگ‌های گیاه به‌منظور رشد در طیف نوری خو گرفته است. این موضوع پیشنهاد می‌کند که ترکیب مختلف از طیف‌های نوری به‌طور قابل توجهی قابلیت افزایش عملکرد کوانتومی را دارد (Hogewoning *et al*., 2012). استفاده از منابع نوری مصنوعی در شرایط کاملا کنترل شده قابلیت تغییر و بهبود شرایط رشدی گیاه و همچنین صفات کمی و کیفی آن را دارد (Li *et al*., 2013). اگرچه در مطالعات مختلف تلاش شده با بهره‌گیری از دستگاه‌های نورسنج شدت نورهای یکسان از نظر توانایی فتوسنتزی برای کیفیت‌های مختلف نور اعمال شود. با این حال به‌دلیل محدودیت‌های این دستگاه ها و حساسیت متفاوت سنسورها به طیف‌های مختلف نور، توانایی فتوسنتزی نور اعمالی در گیاهان و ارقام مختلف می‌توانند متفاوت باشد که می‌تواند در نتایج نیز تأثیر داشته باشد (Tabaka & Wtorkiewicz, 2022). لذا در این پژوهش تلاش شد تأثیر کیفیت های مختلف نور با توانایی فتوسنتزیی یکسان و نه شدت شار فتون یکسان، بر شاخص‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاهچه خیار مورد مطالعه قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گروه بیوتکنولوژی گیاهان باغبانی پژوهشکده بیوتکنولوژی صنعتی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی اجرا شد. ابتدا بذرهای گیاه خیار (*Cucumis sativus* L.) رقم 'Officer' در سینی نشاء، کشت گردید و زیر پنل نوری (تیمارهای نوری) مختلف قرار گرفت. تیمارهای آزمایش شامل چهار کیفیت نور سفید (۶۰۰۰–۶۵۰۰ K)، نور آبی (۴۷۰ – ۴۶۰ نانومتر)، نور قرمز (۶۲۵ نانومتر) و نور ترکیبی (آبی + قرمز + سفید) بود. میزان شار فوتون فتوسنتزی در تمام تیمارهای نوری یکسان و معادل ۲/۷۵ میکرومول تثبیت CO_2 بر متر مربع بر ثانیه براساس اندازه‌گیری مقدار تثبیت دی‌اکسید کربن حفظ شد. آبیاری گیاه بااستفاده از محلول غذایی هوگلند (Hoagland & Arnon, 1938) در هنگام نیاز گیاه انجام شد. در تهیه بستر کشت نیز از ترکیب کوکوپیت و پرلیت به نسبت مساوی استفاده گردید. سی روز پس از کاشت بذرها، ویژگی‌های شاخص‌های رشدی گیاه در فاصله زمانی ۱۰ روز یکبار در سه مرحله اندازه‌گیری گردید. در هر مرحله ۴ نمونه گیاهی انتخاب و سپس ارتفاع بوته با استفاده از خط کش، سطح برگ با استفاده از تصویر برگ‌های جدا شده از گیاه با استفاده از نرم‌افزار ImageJ 1.51w، وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی و ریشه پس از قرارگیری در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت و شاخص ماده خشک گیاهی[2] (وزن خشک اندام هوایی/ وزن تر اندام هوایی = ماده خشک گیاهی) اندازه گیری گردید. برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل گیاه نیز ابتدا سه قطعه پانچ شده برگ گیاه به‌منظور استخراج عصاره برگ با استفاده از اتانول ۹۶ درصد کاملاً له و کوبیده شد. پس از آن عصاره حاصل در

1- Photosynthetic photon flux density (PPFD)

2- Dry Matter Index (DMI)

میکروتیوپ به حجم ۱ سی‌سی رسانده شد. سپس میکروتیوپ حاوی عصاره برگ به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۰ هزار دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. پس از آن محلول شفاف بالایی در سه طول موج ، ۶۴۸/۵ و ۶۶۴ نانومتر قرائت گردید. در انتها با استفاده از روابط زیر مقدار نهایی کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید محاسبه شد (Lichtenthaler & Buschmann, 2001):

$$Cl_a = 13.36\ A_{664.1} - 519\ A_{668.6}$$
$$Cl_b = 27.43\ A_{648.6} - 8.12\ A_{664.1}$$
$$C_{x+c} = (1000\ A_{470} - 2.13\ cl_a - 97.64\ cl_b)\ 209$$

آماده‌سازی داده‌ها در برنامه Excel، تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار JMP-8 و مقایسه میانگین تیمارها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

اثر کیفیت نور بر صفات مورفولوژیک گیاه خیار

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین تیمارهای نوری از لحاظ صفات وزن خشک ریشه، ارتفاع بوته، شاخص ماده خشک و سطح برگ در ۴۰ روز پس از کاشت و در صفات سطح برگ، وزن تر اندام هوایی، وزن خشک ریشه و ارتفاع گیاه در ۵۰ روز پس از کشت بذر اختلاف معنی‌داری وجود داشته است (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفولوژیک گیاه خیار تحت تاثیر کیفیت‌های مختلف نور در روزهای پس از کشت

Table 1- ANOVA (mean square) of morphological traits of cucumber plant under the influence of different light qualities in the different days after cultivation

	منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	شاخص ماده خشک Dry matter index	ارتفاع گیاه Plant height	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن تر اندام هوایی Shoot fresh weight	سطح برگ Leaf area
۴۰ روز پس از کشت 40 days after cultivation	کیفیت نور Light quality	3	2.78**	124.06 **	0.162 **	0.007 ns	4.84 ns	16633.2 **
	خطا Error	12	0.33	4.81	0.02	0.01	1.78	2340.2
	منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	شاخص ماده خشک Dry matter index	ارتفاع گیاه Plant height	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن تر اندام هوایی Shoot fresh weight	سطح برگ Leaf area
۵۰ روز پس از کشت 50 days after cultivation	کیفیت نور Light quality	3	9.36 ns	62.50 **	1.32 **	0.153 ns	37.89 **	43074.4 **
	خطا Error	12	3.65	2.62	0.02	0.67	2.68	9578.9

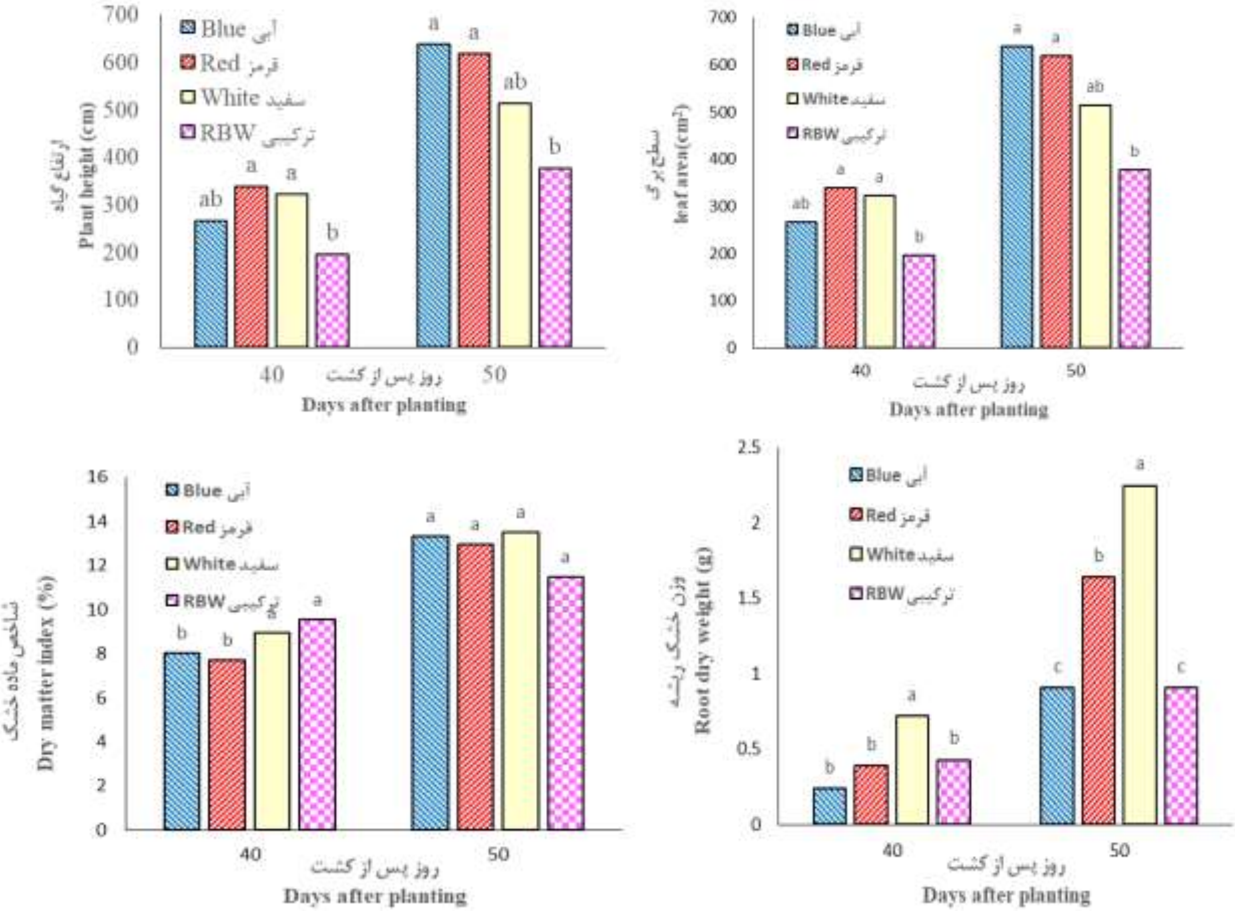
ns: عدم تفاوت معنی‌دار؛ **: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

ns: Non-significant, ** significant at 1% of probability level

قرارگیری گیاهچه خیار در معرض نور قرمز و آبی منجر به ثبت بیشترین سطح برگ در گیاه در تمامی مراحل رشد گردید. این در حالی است که سطح برگ در تیمار نور ترکیبی کمترین مقدار را در طی رشد گیاه به خود اختصاص داد (شکل ۱). علاوه بر این نتایج مشابهی در ارتباط با ارتفاع گیاه نیز مشاهده شد. به‌طور کلی ارتفاع گیاه در گیاهان رشد یافته با نور آبی و قرمز به تنهایی در مقایسه با تیمار نور سفید و نور ترکیبی به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (شکل ۱؛ شکل ۲). همچنین، شاخص ماده خشک پس از چهل روز از رشد گیاه در شرایط رشد یافته با نور آبی و قرمز در مقایسه با نور سفید و نور ترکیبی بیشتر بود و با رشد گیاه تا ۵۰ روز، شاخص ماده خشک نیز افزایش یافت ولی اختلاف بین تیمارها معنی‌دار نبود. میزان افزایش شاخص ماده خشک در گیاهان رشد یافته در شرایط نور آبی در مقایسه با سایر تیمارهای نوری مشهودتر بود (شکل ۱). استفاده از نور سفید وزن خشک ریشه گیاه را در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایش به‌طور معنی‌داری بهبود بخشید و منجر به ثبت بیشترین وزن خشک ریشه در گیاه شد (شکل ۱؛ شکل ۳).

اثر کیفیت نور بر وزن تر و خشک اندام هوایی

قرارگیری گیاه در معرض نور آبی و نور سفید وزن تر اندام هوایی را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایش افزایش داد. این نکته قابل ذکر است که کمترین وزن تر اندام هوایی در گیاهان رشد یافته تحت تیمار نوری قرمز مشاهده شد. همچنین بین تیمارهای آزمایش از نظر وزن خشک اندام هوایی تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲). سایر تفاوت رشدی گیاهان تحت تأثیر کیفیت‌های مختلف نور در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۱- تغییرات سطح برگ، ارتفاع گیاه، شاخص ماده خشک و وزن خشک ریشه گیاه خیار در دورهای رشدی مختلف تحت تأثیر کیفیت‌های نور

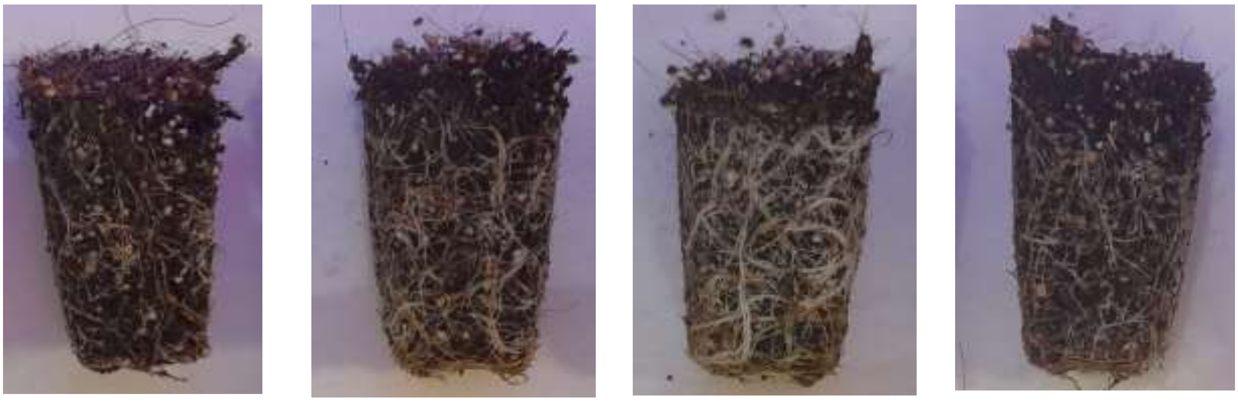
Figure 1- The effect of different light quality on leaf area, plant height, dry matter index and root dry weight of cucumber plant in the 40 and 50 days after cultivation (LSD, *$p \leq 0.05$*)



آبی	قرمز	سفید	ترکیبی (قرمز+آبی+سفید)
Blue	Red	White	Composition (Red+Blue+White)

شکل ۲- تأثیر کیفیت‌های مختلف نور بر ارتفاع گیاه خیار

Figure 2- The effect of different qualities of light on the plant height



آبی
Blue

قرمز
Red

سفید
White

ترکیبی (قرمز+سفید+آبی)
Composition
(Red+Blue+White)

شکل ۳- تفاوت حجم ریشه تولید شده تحت تأثیر کیفیت‌های مختلف نور
Figure 3- The effect of different qualities of light on the root growth

جدول ۲- تأثیر کیفیت‌های مختلف نور بر وزن تر و خشک اندام هوایی خیار ۵۰ روز پس از کشت
Table 2- The effect of different qualities of light on the fresh and dry weight of the plant 50 days after planting

کیفیت نور Light quality	قرمز Red (R)	آبی Blue (B)	سفید White (W)	ترکیبی RBW
وزن تر اندام هوایی Shoot fresh weigth (g)	15.92 ᵇ	20.99 ᵃ	19.45 ᵃ	16.91 ᵇ
وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weigth (g)	2.06 ᵃ	2.43 ᵃ	2.26 ᵃ	1.95 ᵃ

وجود حداقل یک حرف مشابه در هر ردیف بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد است.
The presence of at least one similar letter in each row indicates no significant difference at 5% of probability level based on LSD test.



آبی
Blue

قرمز
Red

سفید
White

ترکیبی (قرمز+سفید+آبی)
Composition
(Red+Blue+White)

شکل ٤- گیاه رشدیافته خیار تحت تاثیر کیفیت‌های مختلف نور
Figure 4- The effect of different qualities of light on plants growth of cucumber

افزون بر میزان نور که بر همکنشی از شدت نور و طول مدت روشنایی است، کیفیت نور از فاکتورهای مهم و موثر در رشد گیاه می‌باشد (Goto, 2003; Massa *et al*., 2008). ترکیبی از LED های قرمز و آبی با ایجاد طیف پیک جذبی مناسب، در فتوسنتز و اندامزایی گیاه مؤثر است (Kreslavski *et al*., Yang, 2008; 2013). قرارگیری گیاه در محیط‌هایی با نور آبی یا قرمز به تنهایی رشد گیاه را سبب می‌شود این موضوع به‌دلیل عملکرد فوتونی دو طیف نوری قرمز و آبی به تنهایی و قابلیت برآورده کردن نیاز نوری

گیاه در ارتباط می‌باشد. این نکته قابل ذکر است که برخی محققین نیز حضور نور آبی و قرمز در کنار هم را برای رشد گیاه ضروری می دانند (Massa *et al*., 2008; Kim *et al*., Yorio *et al*., 2001; 2004; Moradi *et al*., 2023). در این پژوهش نیز استفاده از نور قرمز و آبی به تنهایی بر رشد و نمو گیاه مؤثر واقع شد. به‌طوری‌که قرارگیری گیاه در معرض نور قرمز به تنهایی سطح برگ و ارتفاع آن را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با سایر کیفیت‌های نور افزایش داد. محققین بیان کرده‌اند که افزایش کاربرد نور قرمز افزایش سطح برگ، طول ساقه (Zandavifard & Azizi, 2008) و وزن تر اندام هوایی را در پی دارد (Johkan *et al*., 2010Hanyu & Shoji, 2000;). عامل مهم و تعیین‌کننده در انجام فتوسنتز در گیاه برگ می‌باشد. بنابراین، افزایش سطح برگ در گیاه افزایش میزان فتوسنتز، رشد و توسعه گیاه را سبب می‌شود (Adams *et al*., Klein, 1992; 2008). تحقیقات متعدد انجام شده نشان داده است که نور قرمز، رشد گیاه را از طریق افزایش وزن تر و خشک گیاه، افزایش سطح برگ و ارتفاع گیاه بهبود می‌بخشد (Johkan *et al*., Heo *et al*., 2012; 2010; Son & Oh, 2013; Wang *et al*., 2009). نور آبی و نور قرمز می‌توانند سرعت جریان پروتون سلول‌های اپیدرمی را از طریق مکانیسم جداسازی افزایش دهند و در نتیجه بر توسعه برگ‌ها تأثیر بگذارند. نور آبی به‌صورت مستقیم و از طریق برهمکنش پمپ‌های پروتونی و گیرنده‌های نور آبی و نور قرمز به‌صورت غیر مستقیم بر پمپ‌های پروتون از طریق تعدیل کردن کانال‌های پتاسیمی و کلسیمی هدایت یون غیرفعال مؤثر می‌باشد (Volkenburgh, 1999).

تأثیر نور آبی در بهبود فتوسنتز و توسعه گیاه تأیید شده است (Miao *et al*., 2016). در این پژوهش نیز کاربرد نور آبی به تنهایی در افزایش ارتفاع گیاه و بهبود وزن تر آن مؤثر بود. آزمایشات اخیر نشان داده است که نورهای آبی و نارنجی در مقایسه با نور سفید انتقال کربوهیدرات بیشتری از برگ را سبب می‌شوند (Lanoue *et al*., 2018). در سایر پژوهش‌ها بیان شده است که نور آبی با کاهش توسعه سلول، منجر به ممانعت از رشد برگ و افزایش طول ساقه در گیاهچه‌های خیار، آفتابگردان، لوبیای آزوکی (Azuki bean)، کدو سبز (Zucchini)، نخودفرنگی (Pea) و ماش (Mung bean) شد (Cosgrove,1981). اما در این پژوهش استفاده از نور آبی به تنهایی ارتفاع گیاه را در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایش افزایش داد. این موضوع احتمالا با تغییرات هورمونی در گیاه مرتبط است. گیاه به هنگام قرارگیری در معرض نور آبی پاسخ‌های متفاوتی را در ارتباط با ارتفاع نشان می‌دهد. در برخی گیاهان افزایش ارتفاع و در برخی دیگر کاهش ارتفاع مشاهده شده است. این موضوع به احتمال زیاد با تولید جیبرلین در گیاه مرتبط است. نور آبی بر چگونگی بیان و عملکرد ژن های مرتبط با جیبرلین در ارتباط است. در تعدادی از گونه‌های گیاهی نور آبی منجر به ایجاد سیگنال در رنگدانه کریپتوکروم شده و که به دنبال آن کاهش ساخت جیبرلین و کاهش ارتفاع در گیاه صورت می‌گیرد (Hernández & Kubota, 2016). با این حال، در برخی دیگر از گونه‌های گیاهی میزان جیبرلین در گیاه افزایش یافته که متعاقب آن ارتفاع گیاه نیز افزایش می‌یابد (Kong *et* ; Jeong *et al*., 2020 *al*., 2019). در نتیجه مدت زمان قرارگیری گیاه در معرض نور آبی و شدت نور منجر به تغییر در چگونگی عملکرد کریپتوکروم و میزان فعالیت آن می‌شود (Fukuda *et al*., 2016; Cerdan & Chory, 2003; Bernie & Prilleux, 2005). تأثیر نور آبی بر ارتفاع گیاه با اثرگذاری بر رنگدانه کریپتوکروم‌ها در سایر پژوهش‌ها نیز بیان شده است (Kaiser *et al*., 2019; Naznin *et al*., 2019). پژوهش‌های مختلف نشان داده است که در گیاهچه‌های فلفل، گوجه فرنگی و خیار ترکیب طول موج‌های آبی و قرمز در تحریک رشد و بهبود ویژگی‌های مورفولوژیک گیاه، در شرایط کنترل شده مؤثر است (Hogewoning *et al*., 2010; Liu *et al*., 2011; Savvides *et al*., 2012; van Ieperen *et al*., 2012).

اثر کیفیت نور بر محتوای کلروفیل برگ گیاه خیار

نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد که مقدار کلروفیل a، b و کارتنوئید تحت تأثیر کیفیت‌های مختلف نور در ۳۰ روز پس از کاشت در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. اما شاخص‌های یاد شده در ۴۰ و ۵۰ روز پس از کاشت تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار نگرفت (جدول ۳). بطور کلی مقدار کلروفیل a و b برگ در تیمار نور قرمز به طور معنی‌داری بیشتر بود و سایر تیمارها نیز اختلاف چندانی با هم نداشتند. همچنین بین تیمارها از نظر میزان کاروتنوئید برگ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۵).

محتوای رنگ‌دانه فتوسنتزی در گیاهان یک شاخص مهم برای تعیین وضعیت فیزیولوژیکی گیاهان است. کاهش در میزان کلروفیل گیاه بیانگر قرارگیری آن در شرایط تنش‌زا بوده و به‌عنوان شاخصی برای این موضوع شناخته می‌شود (Netto *et al*., 2005). مقدار کلروفیل به‌طور مستقیم بر فرآیند فتوسنتز در گیاه تأثیر می‌گذارد و محتوای کلروپلاست در برگ نیز تحت تأثیر کیفیت نور قرار می‌گیرد (Hoffmann *et al*., 2015; Zheng & Van Labeke, 2017; Yang *et al*., 2018).

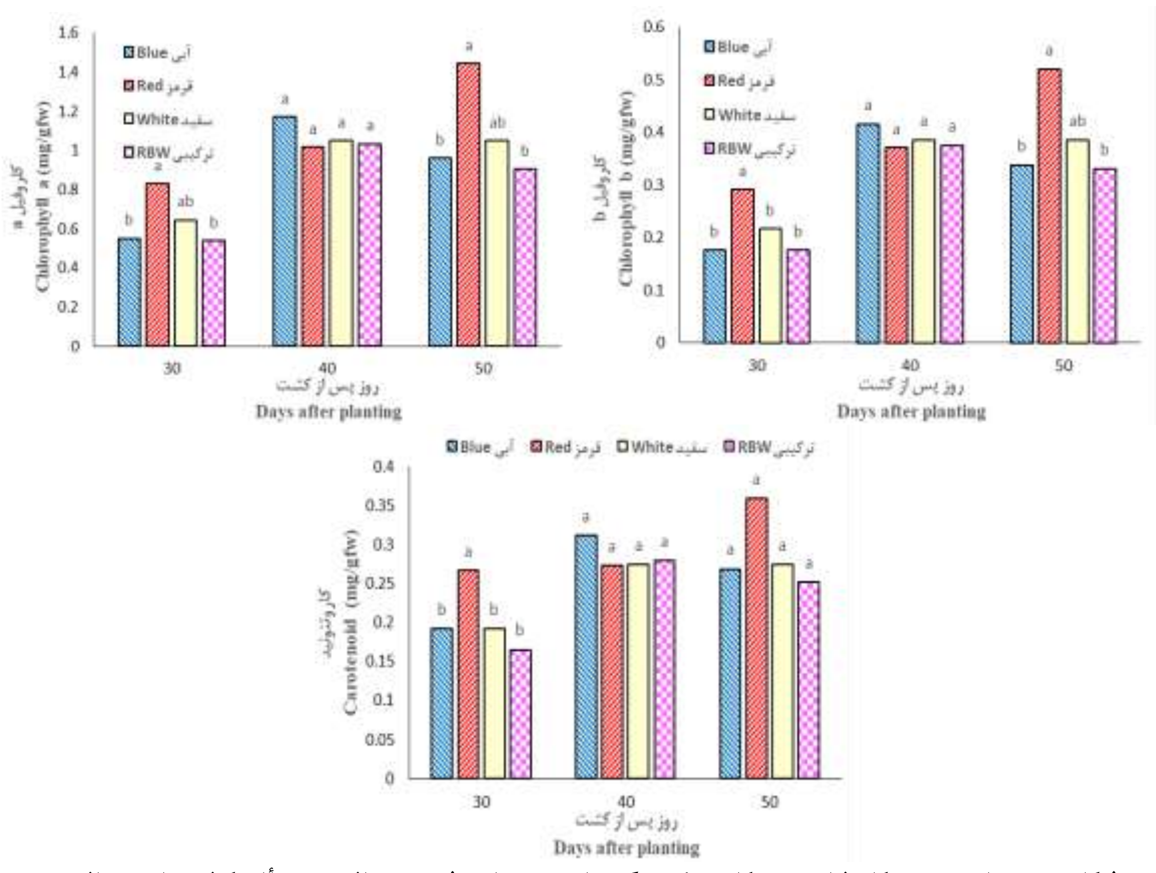
جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) محتوای کلروفیل گیاه تحت تأثیر کیفیت‌های مختلف نور در روزهای مختلف پس از کشت

Table 3- ANOVA (mean square) of plant chlorophyll content under the influence of different light qualities in the different days after cultivation

	منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	کاروتنوئید Carotenoid	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a Chlorophyll a
۳۰ روز پس از کشت 30 days after cultivation	کیفیت نور Light quality	3	0.011 **	0.017*	0.108*
	خطا Error	12	0.00123	0.002	0.02
	منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	کاروتنوئید Carotenoid	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a Chlorophyll a
۴۰ روز پس از کشت 40 days after cultivation	کیفیت نور Light quality	3	0.26 ns	0.123 ns	0.18 ns
	خطا Error	12	0.85	0.94	0.9
	منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	کاروتنوئید Carotenoid	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a Chlorophyll a
۵۰ روز پس از کشت 50 days after cultivation	کیفیت نور Light quality	3	0.007 ns	0.24 ns	0.18 ns
	خطا Error	12	0.003	0.008	0.072

ns: عدم تفاوت معنی‌دار؛ ** و *: به‌ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

ns: Non-significant, ** and * significant at 1% and 5% of probability levels, respectively.



شکل ۵- تغییرات محتوی کلروفیل a، b و کاروتنوئید برگ خیار در دورهای رشدی مختلف تحت تأثیر کیفیت‌های مختلف نور

Figure 5- Changes of the chlorophyll a, b and carotenoid contents of leaves in different growth cycles under the influence of light qualities (LSD, *p≤0.05*)

محتوای کلروفیل گیاه خیار در طی رشد تحت تأثیر نور قرمز قرار گرفت. استفاده از تیمار نور قرمز مقدار کلروفیل در گیاه را بیشتر از ۲۵ درصد در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایش افزایش داد. توانایی فتوسنتز برگ به‌صورت مستقیم با نسبت نور قرمز به آبی لامپ‌های LED مرتبط است (Hogewoning *et al*., 2010). گیاه برای فتوسنتز عمدتا نور قرمز و آبی را جذب می‌کند. در این تیمار نیز حضور نور قرمز باعث افزایش میزان محتوای کلروفیل برگ شد. تغییرات محتوای کلروفیل در گیاه تحت تأثیر گونه گیاهی قرار می‌گیرد (Liu *et al*., 2019). در گیاه بروکلی با افزایش درصد نور آبی، محتوای کلروفیل گیاه نیز افزایش یافت (Kopsell *et al*., 2014). در گیاهچه فلفل نیز بیشترین محتوای کلروفیل و کلروفیل a در شرایط استفاده از نور سفید (نسبت قرمز: آبی ۱/۵) بدست آمد (Liu *et al*., 2019). نور سفید با افزایش پیش‌ماده‌های بیوسنتز کننده کلروفیل، افزایش سنتز آن را سبب می‌شوند (Fan *et al*., 2013). کلروفیل در جذب، انتقال و تبدیل انرژی نور عمل می‌کند و میزان و ترکیب کلروفیل بطور مستقیم ظرفیت فتوسنتزی تحت تأثیر قرار می‌دهد (Biswal *et al*., 2012). گزارش شده است که میزان کلروفیل در برگ گیاهان گوجه فرنگی، ذرت و توتون در شرایط پایین نور قرمز/ مادون قرمز کاهش می‌یابد (Wei *et al*., 2018; Kim *et al*., 2019). در این پژوهش نیز استفاده از نور قرمز به‌عنوان منبع نوری رشد گیاه، محتوای کلروفیل برگ را در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایش افزایش داد. علاوه بر این، با توجه به افزایش بهره‌وری فتوسنتز در این کیفیت نور، رشد برگ و ارتفاع در این گیاهان قابل توجه بود.

نتیجه‌گیری

اگر چه مطالعاتی مختلفی به بررسی اثر کیفیت و کمیت نور بر روی گیاهان مختلف پرداخته‌اند، جداسازی تأثیرات کمی از کیفی شدت نور در فیزیولوژی گیاه در بسیاری از آنها مورد توجه قرار نگرفته است. با توجه به نتایج این پژوهش مشخص گردید که قرارگیری گیاه در معرض کیفیت‌های نوری متفاوت، با کمیت فتوسنتزی یکسان پاسخ‌های مختلفی در گیاه خیار را در پی داشت. با وجود اینکه متغیرهایی نظیر وزن خشک اندام هوایی و مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی چندان تحت تأثیر کیفیت نور قرار نگرفت با این حال صفاتی مثل ارتفاع بوته، سطح برگ، وزن خشک ریشه و وزن تر اندام هوایی تحت تأثیر کیفیت نور قرار گرفت. صفات تحت تأثیر قرار گرفته جزو دسته صفاتی هستند که تحت تأثیر هورمون جبرلین قرار می‌گیرند و با توجه به گزارشاتی که در ارتباط با تأثیر کیفیت نور بر روی بیوسنتز و پاسخ به این هورمون وجود دارد. به‌نظر می‌رسد بتوان کنش پیچیده گیاهان را به کیفیت نور به تنظیم این هورمون در گیاه نسبت داد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از جهاددانشگاهی واحد خراسان رضوی به‌دلیل تأمین هزینه‌ها و امکانات مورد نیاز برای انجام این آزمایش کمال تشکر را دارند.

References

1. Adams, S.R., Valdes, V.M., & Langton, F.A. (2008). Why does low intensity, long-day lighting promote growth in petunia, impatiens, and tomato? *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *83*(5), 609-615. https://doi.org/10.1080/14620316.2008.11512431.
2. Astolfi, S., de Biasi, M.G., & Passera, C. (2001). Effect of irradiance-sulphur interaction on enzyme of carbon, nitrogen, and Sulphur metabolism in maize plant. *Photosynthetica*, *39*, 177-181. https://doi.org/10.1023/A:1013762605766.
3. Bernie, G., & Perilleux, C. (2005). A physiological overview of the genetics of flowering time control. *Plant Biotechnology Journal*, *3*, 3-16. https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2004.00114.x.
4. Bian, Z.H., Cheng, R.F., Yang, Q.C., Wang, J., & Lu, C. (2016). Continuous light from red, blue, and green light-emitting diodes reduces nitrate content and enhances phytochemical concentrations and antioxidant capacity in lettuce. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *141*, 186–195. https://doi.org/10.21273/JASHS.141.2.186.
5. Bian, Z.H., Yang, Q.C., & Liu, W.K. (2015). Effects of light quality on the accumulation of phytochemicals in vegetables produced in controlled environments: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *95*(5), 869–877. https://doi.org/10.1002/jsfa.6789
6. Biswal, A.K., Pattanayak, G.K., Pandey, S.S., Leelavathi, S., Reddy, V.S., & Tripathy, B.C. (2012). Light intensitydependent modulation of chlorophyll b biosynthesis and photosynthesis by overexpression of chlorophyllide a oxygenase in tobacco. *Plant Physiology*, *159*, 433-449. https://doi.org/10.1104/pp.112.195859.
7. Bourget, C.M. (2008) An introduction to light-emitting diodes. *HortScience*, *43*, 1944-1946. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1944.
8. Cao, G., Zhang, G., Yu, J., & Ma, Y. (2013). Effects of different led light qualities on cucumber seedling growth

and chlorophyll fluorescence parameters. *Scientia Agricultura Sinica*, *46*(6), 1297–1304.
9. Cerdan, P.D., & Chory, J. (2003). Regulation of flowering time by light quality. *Nat, 423*, 881-885. https://doi.org/10.1038/nature01636
10. Chen, M., Chory, J., & Fankhauser, C. (2004). Light signal transduction in higher plants. *Annual Review of Genetics*, *38*(1), 87–117. https://doi.org/10.1146/annurev.genet.38.072902.092259
11. Cosgrove, D.J. (1981). Rapid suppression of growth by blue light. *Plant Physiology*, *67*, 584-590. https://doi.org/10.1104/pp.67.3.584
12. Fan, X., Zang, J., Xu, Z., Guo, S., Jiao, X., Liu, X., & Gao, Y. (2013). Effects of different light quality on growth, chlorophyll concentration and chlorophyll biosynthesis precursors of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, *35*, 2721-2726. https://doi.org/10.1007/s11738-013-1304-z
13. Fukuda, N., Ajima, C., Yukawa, T., & Olsen, J. (2016). Antagonistic action of blue and red light on shoot elongation in petunia depends on gibberellin, but the effects on flowering are not generally linked to gibberellin. *Environmental and Experimental Botany*, *121*, 102-111. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.06.014
14. Goto, E. (2003). Effect of light quality on growth of crop plants under artificial lighting. *Environmental Control in Biology*, *41*, 121-132. https://doi.org/10.2525/ecb1963.41.12
15. Hanyu, H., & Shoji, K. (2000) Effect of blue light and red light on kidney bean plants grown under combined radiation from narrow-band light source. *Environmental Control in Biology*, *38*, 13-24. http://doi.org/10.2525/ecb1963.38.13
16. Hemming, S., Mohammadkhani, V., & Dueck, T. (2008). Diffuse greenhouse coveringmaterials–material technology, measurements and evaluation of optical properties. *Acta Horticulturae*, 469–475. http://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.797.68
17. Heo, J.W., Kang, D.H., Bang, H.S., Hong, S.G., Chun, C.H., & Kang, K.K. (2012). Early growth, pigmentation, protein content, and phenylalanine ammonia-lyase activity of red curled lettuces grown under different lighting conditions. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, *30*(1), 6–12. http://doi.org/10.7235/hort.2012.11118
18. Hernández, R., & Kubota, C. (2016). Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs. *Environmental and Experimental Botany*, *121*, 66-74.
19. Hernández, R., & Kubota, C. (2015). Physiological, morphological, and energy-use efficiency comparisons of LED and HPS supplemental lighting for cucumber transplant production. *HortScience*, *50*, 351-357.
20. Hernández, R., & Kubota, C. (2012). Tomato seedling growth and morphologicalresponses to supplemental LED lighting Red:Blue rations under varied daily solar light integrals. *Acta Horticulturae*, *956*, 187–194. http://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.956.19
21. Hernandez, R., Eguchi, T., & Kubota, C. (2016). Growth and morphology of vegetable seedlings under different blue and red photon flux ratios using light-emitting diodes as solesource lighting. *Acta Horticulturae* (ISHS), *1134*, 195–200. http://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1134.26
22. Heuvelink, E., Bakker, M.J., Hogendonk, L., Janse, J., Kaarsemaker, R.C., & Maaswinkel, R.H.M. (2006). Horticultural lightening in the Neetherlands: new developments, *Acta Horticulturae*, *711*, 25-33. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.711.1
23. Hoagland, D.R., & Arnon, D.I. (1938). The water culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station Circulation, 347, 32.
24. Hoffmann, A.M., Noga, G., & Hunsche, M. (2015). High blue light improves acclimation and photosynthetic recovery of pepper plants exposed to UV stress. *Environmental and Experimental Botany*, *109*(2), 254–63. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.06.017
25. Hogewoning, S.W., Trouwborst, G., Maljaars, H., Poorter, H., van Ieperen, W., & Harbinson, J. (2010). Blue light dose–responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light. *Journal of Experimental Botany*, *61*, 3107-3117. https://doi.org/10.1093/jxb/erq132
26. Hogewoning, S.W., Wienties, E., Douwatra, P., Trouwborst, G., van Irperen, W., Croce, R., & Harbinson, J. (2012). Photosynthetic quantum yeild dynamic: From photosysytems to leaves. *The Plant Cell*, *24*, 1921-1935. https://doi.org/10.1105/tpc.112.097972
27. Jeong, H.W., Lee, H.R., Kim, H.M., Kim, H.M., Hwang H.S., & Hwang, S.J. (2020). Using light quality for growth control of cucumber seedlings in closed-type plant production system. *Plants*, *639*, 1-12. https://doi.org/10.3390/plants9050639
28. Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hashida, S., & Yoshihara, T. (2010). Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. *HortScience*, *45*(12), 1809–1814. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.12.1809
29. Kaiser, E., Ouzounis, T., Giday, H., Schipper, R., Heuvelink, E., & Marcelis, L.F.M. (2019). Adding blue to red supplemental light increases biomass and yield of greenhouse-grown tomatoes, but only to an optimum. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 1–11. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.02002

30. Kim, H.H., Goins, G.D., Wheeler, R.M., & Sager, J.C. (2004). Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red- and bluelight- emitting diodes. *HortScience*, *39*, 1617–1622.
31. Kim, H.-J., Lin, M.-Y., & Mitchell, C.A. (2019). Light spectral and thermal properties govern biomass allocation in tomato through morphological and physiological changes, *Environmental and Experimental Botany*, *157*, 228–240. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.10.019
32. Klein, R.M. (1992). Effect of green light on biological systems. *Biological Reviews*, *67*, 199-284. https://doi.org/10.1111/j.1469-185x.1992.tb01019.x
33. Kong, Y., Kamath, D., & Zheng, Y. (2019). Blue versus red light can promote elongation growth independent of photoperiod: a study in four Brassica microgreens species. *Hortscience*, *54*(11), 1955–1961. https://doi.org/10.21273/HORTSCI14286-19
34. Kopsell, D.A., Sams, C.E., & Barickman, T.C. (2014). Sprouting broccoli accumulate higher concentrations of nutritionally important metabolites under narrow-band light-emitting diode lighting. *Horticultural Science*, *139*, 469–477. https://doi.org/10.21273/JASHS.139.4.469
35. Kreslavski, V.D., Lyubimov, V.Y., Shirshikova, G.N., Shmarev, A.N., Kosobryukhov, A.A., Schmitt, F.J., Friedrich, T., & Allakhverdiev, S.I. (2013). Preillumination of lettuce seedlings with red light enhances the resistance of photosynthetic apparatus to UV-A. *Journal of Photochemistry Photobiology B: Biology*, *122*(1), 1–6. https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2013.02.016
36. Lanoue, J., Leonardos, E.D., & Grodzinski, B. (2018). Effects of light quality and intensity on diurnal patterns and rates of photo-assimilate translocation and transpiration in tomato leaves. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 756. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00756
37. Li, H., Tang, C., & Xu, Z. (2013). The effects of different light qualities on rapeseed (*Brassica napus* L.) plantlet growth and morphogenesis in vitro. *Scientia Horticulturae*, *150*, 117–124. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.009.
38. Lichtenthaler, H.K., & Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-vis spectroscopy. Current Protocols in Food Analytical Chemistry F4.3.1-F4.3.8. https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01
39. Liu, N., Ji, F., Xu, L.J., & He, D.X. (2019). Effects of LED light quality on the growth of pepper seedling in plant factory. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, *12*(5), 44–50. https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20191205.4847
40. Liu, X.Y., Chang, T.T., Guo, S.R., Xu, Z.G., & Li, J., (2011). Effects of different light qualityof LED on growth of LED on growth and photosynthetic characters in cherry tomato seedlings. *Acta Horticulturae*, *907*, 325–330. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.907.53
41. Lu, N., Maruo, T., Johkan, M., Hohjo, M., Tsukagoshi, S., Ito, Y., Ichimura, T., & Shinohara, Y. (2012). Effects of supplemental lighting with light-emitting diodes (LEDs) on tomato yield and quality of single-truss tomato plants grown at high planting density. *Environmental Control in Biology*, *50*(1), 63–74. https://doi.org/10.2525/ecb.50.63
42. Massa, G.D., Kim H.H., Wheeler, R.M., & Mitchell, C.A. (2008). Plant productivity in response to LED lighting. *Hortscience*, *43*, 1951- 1956. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1951
43. McCree, K.J. (1971). The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agricultural Meteorology*, *9*, 191-216. https://doi.org/10.1016/0002-1571(71)90022-7
44. Miao, Y.X., Wang, X.Z., Gao, L.H., Chen, Q.Y., & Qu, M. (2016). Blue light is more essential than red light for maintaining the activities of photosystem II and I and photosynthetic electron transport capacity in cucumber leaves. *Journal of Integrative Agriculture*, *15*(1), 87-100. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61202-3
45. Moradi, M., Abedi, B., Arouiee, H., Aliniaeifard, S., & Ghasemi Bezdi, K. (2023). Effect of different light spectral on photosynthetic performance, growth indicators and essential oil content of *Salvia officinalis* L.. *Journal of Horticultural Science*, *37*(3), 821-841. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2023.78806.1211
46. Morrow, R.C. (2008). LED lighting in horticulture. *HortScience*, *43*(7), 1947-1950. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1947
47. Naznin, M.T., Lefsrud, M., Gravel, V., & Azad, M.O.K. (2019). Blue light added with red LEDs enhance growth characteristics, pigments content, and antioxidant capacity in lettuce, spinach, kale, basil, and sweet pepper in a controlled environment. *Plants*, *8*(4). https://doi.org/10.3390/plants8040093
48. Netto, A.T., Campostrini, E., & de Oliveira J.G. (2005). Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. *Scientia Horticulturae*, *104*, 199–209. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.08.013
49. Olle, M., & Viršile, A. (2013). The effects of light-emitting diodes on greenhouse plant growth and quality. *Agricultural and Food Science*, *22*, 223–234. https://doi.org/10.23986/afsci.7897
50. Randall, W.C., & Lopez, R.G. (2014). Comparison of supplemental lighting from high-pressure sodium lamps and light-emitting diodes during bedding plant seedling production. *HortScience*, *49*, 589–595. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.5.589

51. Savvides, A., Fanourakis, D., & van Ieperen, W. (2012). Co-ordination of hydraulic andstomatal conductances across light qualities in cucumber leaves. *Journal of Experimental Botany*, *63*, 1135–1143. https://doi.org/10.1093/jxb/err348
52. Singh, D., Basu, C., Meinhardt-Wollweber, M., & Roth, B. (2015). LEDs for energy efficient greenhouse lighting. Renew. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *49,* 139–147. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.117
53. Son, K.H., & Oh, M.M. (2013). Leaf shape, growth, and antioxidant phenolic compounds of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red light-emitting diodes. *Horticulture Science*, *48*(8), 988–995. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.8.988
54. Song, J.X., Meng, Q.W., Du, W.F., & He, D.X. (2017). Effects of light quality on growth and development of cucumber seedlings in controlled environment. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, *10*(3), 312–318. https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20171003.2299
55. Spaargaren, J.J. (2001) *Supplemental lightening for green house crop*. Hortilux Schreder B.V. and P.L light System, Inc.-Ortario, Canada, p. 26-29.
56. Tabaka, P., & Wtorkiewicz, J. (2022). Analysis of the spectral sensitivity of luxmeters and light sensors of smartphones in terms of their influence on the results of illuminance measurements-example cases. *Energies*, *15,* 5847. https://doi.org/10.3390/en15165847
57. Tamulaitis, G., Duchovskis, P., Bliznikas, Z., Breivė, K., Ulinskaite, R., Brazaityte, A., Novičkovas, A., & Žukauskas, A. (2005). High-power light wmmitting dioded based facility for plant cultivation. *Journal of Physics. D: Applied Physics*, *44*, 261-269. https://doi.org/10.1088/0022-3727/38/17/S20
58. Tibbitts, T., Morgan, D., & Warrington, I. (1983). Growth of lettuce, spinach, mustard, and wheat plants under four combinations of high-pressure sodium, metal halide, and tungsten halogen lamps at equal PPFD. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *108*, 622–630. https://doi.org/10.21273/JASHS.108.4.622
59. Trouwborst, G., Oosterkamp, J., Hogewoning, S.W., Harbinson, J., & van leperen, W., (2010). The responses of light interception, photosynthesis and fruit yield of cucumber to LED-lighting within the canopy. *Physiologia Plantarum*, *138*, 289–300. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2009.01333.x
60. Urbonaviciute, A., Pinho, P., Samuoliene, G., Duchovskis, P., Vitta P., Stonkus, A., Tamulaitis, G., Zukauskas, A., & Halonen, L. (2007). Effect of short wavelength light lettuce growth and nutritional quality. *Sodininkyste ir Darzininkyste*, *26*(1), 157-165.
61. VanIeperen, W., Savvides, A., & Fanourakis, D. (2012). Red and blue light effects during growth on hydraulic and stomatal conductance in leaves of young cucumber plants. *Acta Horticulturae*, *956*, 223–230. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.956.24
62. Volkenburgh, E.V. (1999). Leaf expansion–an integrating plant behaviour. *Plant Cell and Environment*, *22*(12), 1463–1473. https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1999.00514.x
63. Wang, H., Gu, M., Cui, J., Shi, K., Zhou, Y., & Yu, J. (2009). Effects of light quality on CO_2 assimilation, chlorophyll-fluorescence quenching, expression of Calvin cycle genes and carbohydrate accumulation in *Cucumis sativus*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, *96*(1), 30–37. https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2009.03.010
64. Watjanatepin, N. (2019). Effect of three specific spectra of LED light on the growth, yield, and fruit quality of Sida tomato. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, *6*(6), 15-21. https://doi.org/10.21833/ijaas.2019.06.003
65. Wei, B., Song, C.Y., Wang, S.J., Sang, S.P., Li, F.T., Wang, Z.Z., & Yang, J.Z. (2018). Nitrogen application time and R/Fr ratio: Effect on growth physiological characters and yield of maize. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 10–18. (In Chinese with English abstract)
66. Yang, Q.C. (2008). Application and prospect of light emitting diode (LED) in agriculture and bio-industry. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *6*, 42–47. https://doi.org/10.3969/j.issn.1008-0864.2011.05.06
67. Yang, X., Xu, H., Shao, L., Li, T., Wang, Y., & Wang, R. (2018). Response of photosynthetic capacity of tomato leaves to different LED light wavelength. *Environmental and Experimental Botany*, *150*(3), 161–71. https://doi.org/10.1016/J.ENVEXPBOT.2018.03.013
68. Yorio, N.C., Goins, G.D., Kagie, H.R., Wheeler, R.M., & Sager, J.C. (2001). Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. *HortScience*, *36*(2), 380–383. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.36.2.380
69. Zandavifard, Z., & Azizi, M. (2021). Influence of different light spectra on morphological traits and hypericin content in St. John’s Wort (*Hypericum perforatum* L.). *Journal Of Horticultural Science*, *35*(3), 331-339. (In Persian with English abstract). https://doi.org/ 10.22067/JHS.2021.57256.0
70. Zheng, L., & Van Labeke, M.C. (2017) Long-term effects of red-and blue-light emitting diodes on leaf anatomy and photosynthetic efficiency of three ornamental pot plants. *Frontiers in Plant Science*, *8*(1): 917. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00917